

УДК 66.021.4

А.И. Сафронов, УГЛТУ, Екатеринбург
(A.I. Safronov, USFEU, Ekaterinburg)

Б.Г. Сапожников, А.М. Горбунова,
(B.G. Sapozhnikov, A.M. Gorbunova)

Ю.О. Зеленкова, Е.Г. Решетников, Н.П. Ширяева
(Ju.O. Zelenkova, E.G. Reshetnikov, N.P. Shiryaeva)
УрФУ, Екатеринбург (UrFU, Ekaterinburg)

**ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА ВНЕШНИЙ ТЕПЛООБМЕН
В ВИБРОКИПАЮЩЕМ СЛОЕ ЛИГНИНА**
(THE EFFECT OF HUMIDITY ON THE EXTERNAL HEAT TRANSFER IN
VIBRACIJAM LAYER OF LIGNIN)

Приведены экспериментальные данные по локальным и средним коэффициентам теплоотдачи от горизонтального трубного пучка, размещенного в виброкипящем слое гидролизного лигнина различной влажности.

Experimental data on local and average heat transfer coefficients from a horizontal tube beam placed in a vibro-boiling layer of hydrolytic lignin of different humidity are presented.

Известно [1], что гидролизный лигнин по физико-химической характеристике представляет собой трехфазную полидисперсную систему с размерами частиц от нескольких миллиметров до микронов и меньше. При этом исходный гидролизный лигнин представляет собой массу с влажностью до 65–70%. Поэтому вследствие особых свойств лигнина в технологии его подготовки к дальнейшему использованию особое значение придается вопросу сушки, которую из-за его высокой влажности и мелкодисперсности нужно производить при невысоких температурах (до 180 °С), так как взрыв смеси лигнина взрывоопасна.

Определенные преимущества возникают при проведении сушки лигнина в установке с виброкипящим слоем [2], а подвод теплоты осуществляют от пучка горизонтальных труб, размещенного в засыпке. Для определения теплового потока необходимо знать интенсивность внешнего теплообмена от труб пучка к слою, для характеристики которого использовать коэффициенты теплоотдачи.

Исследование теплообмена проводилось при комнатной температуре в аппарате с размерами в плане 160x250 мм и высотой 250 мм, который жестко крепился к столу вибростенда. В качестве теплообменной поверхности применялся горизонтальный однорядный пучок из труб с диаметром $d_{\text{тр}} = 25$ мм и длиной 145 мм с шагом между трубами, равным $1,71d_{\text{тр}}$, и размещенный в середине слоя. В свою очередь, пучок жестко крепился к дну камеры и вибрировал вместе с ней. Основная часть опытов проводи-

лась при вертикально направленных колебаниях с частотой $f = 25$ Гц, амплитудой $A = 2,5...3,5$ мм. Высота насыпного слоя лигнина составляла $H_0 = 160$ мм.

Локальные коэффициенты теплоотдачи α_ϕ определялись с помощью термоэлемента, представляющего собой текстолитовый цилиндр диаметром 25 мм и длиной 145 мм, в продольных пазах которого заподлицо с поверхностью размещались калиброванные полосы из нержавеющей стали длиной 70, шириной 5 и толщиной 0,2 мм. Общее число полос позволяло определять коэффициенты α_ϕ в 12 точках по периметру термоэлементов. Температура полос измерялась с помощью хромель-копелевых термопар. Общий холодный спай термопар размещался в слое на достаточном удалении от термоэлемента, так что потенциометром непосредственно фиксировалась разность температур Δt_c между поверхностью полосы и виброкипящим слоем.

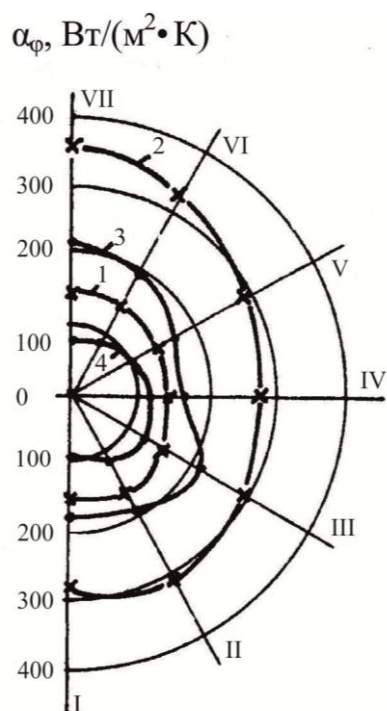


Рис. 1. Влияние влажности лигнина на локальный коэффициент теплоотдачи α_ϕ для однорядного горизонтального пучка из труб $d_{тр} = 25$ мм, $H_0 = 160$ мм, $f = 25$ Гц, $A = 2,5$ мм:
1 – $W_{об} = 4,5$ %; 2 – 16 %;
3 – 25 %; 4 – 35...58 %

Нагрев полос, соединенных последовательно, осуществлялся от сети переменного тока, а мощность определялась по показаниям амперметра и вольтметра с классом точности 0,5. Влажность слоя создавалась путем распыления соответствующего количества воды на поверхность слоя, а ее равномерность по объему – за счет виброперемешивания. Опыты проводились в камере с плотно закрытой крышкой.

Результаты по локальному теплообмену представлены на рис. 1. При этом коэффициенты теплоотдачи на угловых расстояниях, одинаковых от нижней образующей, усреднялись.

Приведенные на рис. 1 данные свидетельствуют о значительной неравномерности распределения коэффициентов α_ϕ по периметру труб, особенно при $W_{об}$, равной 16 и 25 % (кривые 2, 3). В этих случаях максимум теплоотдачи наблюдается при $\phi \approx 30...60^\circ$. Резкое увеличение коэффициентов α_ϕ на всех участках поверхности трубы с переходом от $W_{об} = 4,5$ % (воздушно-сухое состояние, кривая 1) к 16 % (кривая 2) объясняется грануляцией частиц.

В воздушно-сухом слое преобладают мелкие частицы с размерами меньше 0,06 мм, которые при увлажнении гранулируют в более крупные

образования. В этих условиях теплоотдача пропорциональна диаметру частиц, поэтому и происходит увеличение коэффициентов α_ϕ . При большей влажности формируются крупные гранулы с размерами частиц больше 0,3 мм в результате чего интенсивность теплообмена снижается, что и наблюдается при $W_{\text{ОБ}} \geq 25\%$ (кривые 3, 4).

Средние коэффициенты определялись как среднеинтегральные по периметру горизонтальных труб. Результаты таких расчетов приведены на рис. 2. Из рисунка видно, что зависимость $\bar{\alpha} = f(W_{\text{ОБ}})$ имеет сложный характер. Здесь особенно четко прослеживается полученная для локального теплообмена немонотонность изменения теплоотдачи с увеличением влажности. Вначале теплоотдача растет, достигая максимума при $W_{\text{ОБ}} = 14...18\%$, затем уменьшается. Такой ход зависимости $\alpha = f(W_{\text{ОБ}})$ связан с агломерацией частиц и отчасти со снижением интенсивности движения материала.

α , Вт/(м²•К)

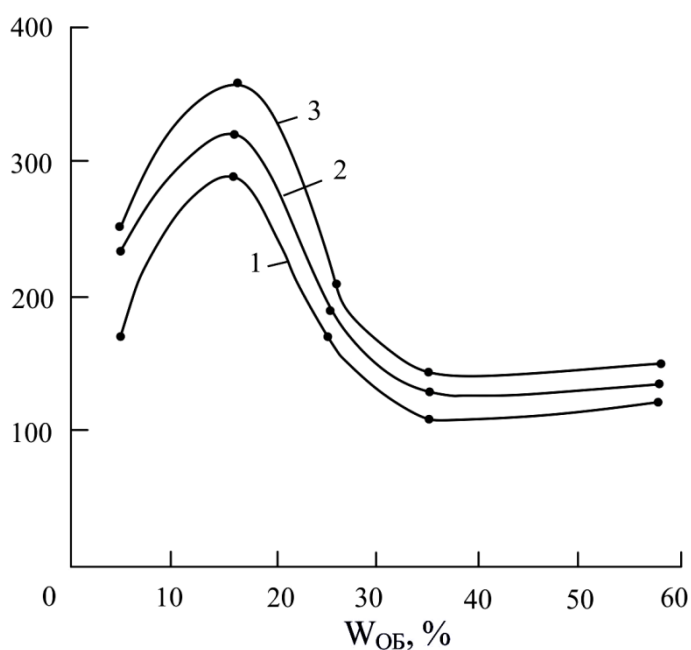


Рис. 2. Влияние влажности лигнина на средние коэффициенты теплоотдачи α для однорядного горизонтального пучка из труб $d_{\text{ТР}} = 25$ мм, $H_0 = 160$ мм, $f = 25$ Гц: 1 – $A = 2,5$ мм; 2 – 3,0; 3 – 3,5

При влажности $W_{\text{ОБ}} > 25\%$ происходит налипание частиц на трубу, которые после подсушивания периодически сбрасываются с ее поверхности. Такой механизм теплообмена малоэффективен. Однако при высокой влажности он становится определяющим, поэтому коэффициенты α принимают низкие значения и практически не изменяются при дальнейшем увлажнении слоя. Полученные результаты можно использовать также при термической и термохимической обработке лигнина при любой исходной влажности.

Библиографический список

1. Чудаков М.И. Промышленное использование лигнина. Изд. 3-е, испр. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 200 с.

2. Муштаев В.И. Техника сушки дисперсных материалов в аппаратах с устойчивыми вибропсевдоожигенными и пульсирующими слоями. М., 2003. 303 с.